# PART2 断熱変化と大気の安定性

目標 乾燥断熱減率, 湿潤断熱減率, 条件付き不安定とは何か, それぞれ説明できる。

## Chapter1　断熱変化

空気塊を上空に持ち上げると，温度が低下します。ここでは，空気塊の温度変化の原因について学びましょう。

### 断熱変化とは

・**内部エネルギー** 物理基礎

気体の内部では原子や分子が飛び回り，それらの粒子は運動エネルギーと位置エネルギーをもっている。それらのエネルギーの和を気体の**内部エネルギー**という。

・**熱力学の第1法則** 物理基礎

気体に対して与えられる熱量を $Q$，外部から行われる仕事を $w$ とすると，気体の内部エネルギーの変化 $\Delta U$ は

$$\Delta U = Q + w$$

と表せる。

・**断熱変化**

空気は熱を（伝えやすい / 伝えにくい）物質であり，空気塊は周囲と熱のやり取りを行わないとみなせる。そのような状態を保って空気塊の温度や体積が変化することを**断熱変化**という。

断熱変化は熱力学の第1法則の式で $Q = 0$ とすることに相当し，

$$\Delta U = w$$

となる。

→断熱変化において，内部エネルギーの変化量は外部から行われる仕事と等しい。

知っておこう

内部エネルギーを考えるときの「位置エネルギー」は，気体内部の粒子どうしの間にはたらく力によるエネルギーを指しています。地球など，外部の物体の重力による位置エネルギーとは異なることに注意しましょう。

知っておこう

物体に力を加えて動かすことを「仕事をする」といいます。仕事は力の大きさと移動距離との積で表され，単位は N・m，すなわち J となります。

エネルギー，熱，仕事の単位が同じであることに注意しましょう。

## ●乾燥断熱減率と湿潤断熱減率

**・乾燥断熱減率**

水蒸気で飽和していない空気塊が上昇するとき，以下に示すような原理で温度が低下していく。このときの温度の低下率を**乾燥断熱減率**という。乾燥断熱減率の値は条件によらずほぼ一定で，約 10K/km〔約 1.0℃ /100m〕である。

空気塊を上空に持ち上げる
→気圧の低下に伴って空気塊は膨張する
→空気塊は周囲の空気を押しのける
→このとき，外部から行われる仕事 $w$ は（正 / 負）となる
→断熱変化を考えると，$\Delta U$ は（正 / 負）となる
→内部エネルギーが（増加 / 減少）し，空気塊の温度が低下する

**・湿潤断熱減率**

水蒸気で飽和した空気塊が上昇するとき，温度の低下に伴って水蒸気が水や氷へと状態変化する。このとき，水分子は空気塊へと潜熱を放出するため，空気塊の温度の低下は抑えられる。このときの温度の低下率を**湿潤断熱減率**という。湿潤断熱減率の値は条件によって異なるが，約 5K/km〔約 0.5℃ /100m〕とされることが多い。

**知っておこう**

大気の鉛直方向の運動を考えるとき,「乾燥」という表現は「空気塊に水蒸気が含まれていない」という意味ではなく,「飽和に達しておらず，水蒸気の状態変化を考えなくてよい」という意味で用いられます。

**覚えておこう**

水蒸気から水への状態変化を**凝結**，水蒸気から氷への状態変化を**凝華**といいます。

**まとめ**

・空気塊が上空へと持ち上げられると，気圧の変化に伴って空気塊は＿＿＿し，内部エネルギーが＿＿＿する。
・水蒸気で飽和していない空気塊が上昇するときの温度の低下率を＿＿＿＿＿＿といい，水蒸気で飽和した空気塊が上昇するときの温度の低下率を＿＿＿＿＿＿という。
・空気塊が水蒸気で飽和しているとき，水の状態変化によって＿＿＿が放出されるため，温度の低下は抑えられる。

# Chapter2　大気の安定性

上昇気流は，風が山地にぶつかることで生じることもありますが，平地で自然に生じることもあります。ここでは，大気の鉛直方向の運動の原因について学びましょう。

## 大気の安定性

・**シャルルの法則** 物理・化学

圧力が一定のとき，一定質量の気体の体積は絶対温度に比例する。これをシャルルの法則という。

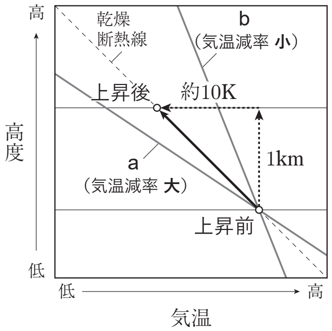
・**気体の温度と密度**

シャルルの法則より，同じ高度では温度が高いほど気体の密度は（大きい / 小さい）といえる。

・**空気塊の上昇と下降**

| 空気塊の温度 | 周囲より低い | 周囲と同じ | 周囲より高い |
|---|---|---|---|
| 空気塊の密度 | 周囲より（大 / 小） | 周囲と同じ | 周囲より（大 / 小） |
| 空気塊の運動 | （上昇 / 下降） | 停止 | （上昇 / 下降） |

・**乾燥した空気塊に対する安定性**




周囲と同じ温度の空気塊を少しだけ持ち上げたとする。このとき，空気塊の温度は乾燥断熱減率にしたがって低下する。

周囲の気温の低下率〔これを**気温減率**という〕が乾燥断熱減率より大きければ〔図の a〕，上昇後の空気塊の温度は周囲よりも（高く / 低く），空気塊は自然とさらに上昇しようとする。このとき，大気は乾燥した空気塊に対して**不安定**であるという。

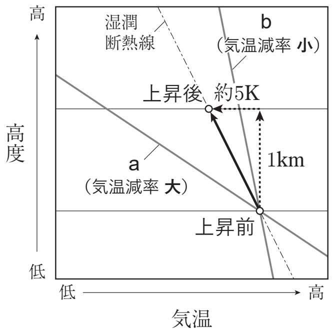
一方，周囲の気温減率が乾燥断熱減率より小さければ〔図の b〕，上昇後の空気塊の温度は周囲よりも（高く / 低く），空気塊は下降して元の高度に戻ろうとする。このとき，大気は乾燥した空気塊に対して**安定**であるという。

**知っておこう**

乾燥（湿潤）断熱線は，乾燥（湿潤）断熱減率にしたがう温度変化を表します。

**・飽和した空気塊に対する安定性**

周囲と同じ温度の空気塊を少しだけ持ち上げたとする。このとき，空気塊の温度は湿潤断熱減率にしたがって低下する。




乾燥した空気塊に対する安定性と同じように考えて，周囲の気温減率と湿潤断熱減率との大小関係によって大気は飽和した空気塊に対して**不安定**である〔図の a〕，または**安定**である〔図の b〕という。

**・大気の安定性の分類**

周囲の気温減率を $\Gamma$，乾燥断熱減率を $\Gamma_d$，湿潤断熱減率を $\Gamma_m$ とする。このとき，大気の安定性は次の 3 つに分類される。

| | 絶対不安定 | 条件付き不安定 | 絶対安定 |
|---|---|---|---|
| 気温減率の値 | $\Gamma > \Gamma_d$ | $\Gamma_d > \Gamma > \Gamma_m$ | $\Gamma_m > \Gamma$ |
| 乾燥した空気塊 | 不安定 | （安定 / 不安定） | 安定 |
| 飽和した空気塊 | 不安定 | （安定 / 不安定） | 安定 |

**・対流圏の大気の安定性**

対流圏の大気の平均的な気温減率は約 6.5K/km であり，条件付き不安定の状態にある。

気象条件によっては絶対不安定や絶対安定の状態になることもあり，積乱雲が発生しやすいのは（絶対不安定 / 絶対安定）となったときである。

**まとめ**

- 大気の安定性は，気温減率，乾燥断熱減率，湿潤断熱減率の大小関係によって分類される。
- 対流圏の大気の平均的な状態は＿＿＿＿＿＿＿＿であり，これは空気塊が乾燥していれば＿＿＿＿＿＿＿＿で，飽和していれば＿＿＿＿＿＿＿＿な状態である。

# Chapter3　演習問題

ここでは，断熱変化と大気の安定性について確認しましょう。

**問題⑴**　乾燥断熱減率について述べた次の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。

ある高度にある空気塊を上空へと持ち上げたとき，気圧が低下することによって体積は（増加 / 減少）する。このとき，空気塊は（大気を押しのける / 大気によって押し縮められる）ため，その仕事によって内部エネルギーが（増加 / 減少）する。

このようにして，水蒸気に飽和していない空気塊の温度は高度変化に伴って低下していく。このときの温度の低下率を乾燥断熱減率といい，約 10K/km，すなわち約 1.0℃/100m である。

**問題⑵**　湿潤断熱減率について述べた次の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。

水蒸気に飽和した空気塊を上空へと持ち上げたとき，飽和していない空気塊と同様に温度が低下していく。このとき，水蒸気が水へと（凝華 / 凝固 / 凝結）したり，氷へと（凝華 / 凝固 / 凝結）したりするため，状態変化に伴う（顕熱 / 潜熱）が（水分子 / 空気塊）から（空気塊 / 周囲の大気）へと放出される。そのため，温度の低下率は乾燥断熱減率よりも（大きい / 小さい）。このときの温度の低下率を湿潤断熱減率という。

ここで，気温が著しく低いときには温度変化が起こっても状態変化する水蒸気の量が少ないため，温度の低下率に対する潜熱の影響も小さい。そのため，上空や冬の低温環境では，湿潤断熱減率の値が（0 / 10）K/km に近くなる。

**問題⑶** 大気の安定性について述べた次の文章中の（　　）について，正しいものを選びましょう。また，空欄［ **ア** ］に入る値を答えましょう。ただし，ここでは乾燥断熱減率を 10K/km，湿潤断熱減率を 5K/km とします。

　ある日の午前 9 時の A 地点では，高度 0m の気温が 21℃，上空 3000m の気温が 3℃であり，この間の空気は飽和していなかった。この間の気温減率が一定であったとすると，気温減率は［ **ア** ］K/km である。よって，このときの大気の状態は（絶対安定 / 条件付き不安定 / 絶対不安定）であった。

**問題⑷** 問題⑶の A 地点に対して，次の a ～ c の変化があったと仮定します。これらのうち，A 地点で上昇気流が発生しやすくなると考えられる変化をすべて答えましょう。

a　日射により高度 0m の気温が 27℃まで上昇したが，上空 1000m 以上の気温は変化しなかった。

b　上空に寒気が流れ込んで上空 3000m の気温が－3℃まで低下したが，高度 0m から上空 2000m までの気温は変化しなかった。

c　地表付近に湿った空気が流れ込んで高度 0m から上空 1500m までの空気が飽和した状態となったが，気温は変化しなかった。

**ここがPOINT**

大気の状態を考えるときは，横軸に気温，縦軸に高度を取ったグラフを描くと，状況が把握しやすくなります！

# 第13講 PART2　確認問題

問１　次の文章を読み，下の問いに答えよ。

水蒸気で飽和していない空気塊が上昇するときの温度の低下率を（　ア　）といい，その値は条件によらずほぼ一定で，100 m の上昇につき約（　イ　）℃である。

一方，水蒸気で飽和した空気塊が上昇するときは，温度の低下に伴って水蒸気が水や氷に状態変化する際に潜熱を放出するため，温度の低下が抑えられる。この温度の低下率を（　ウ　）といい，条件により異なるが，100 m の上昇につき約（　エ　）℃とされることが多い。

(1)　空欄ア～エに入る語句や数値の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　ア：乾燥断熱減率　　イ：1.0
　　ウ：湿潤断熱減率　　エ：0.5

②　ア：乾燥断熱減率　　イ：10
　　ウ：湿潤断熱減率　　エ：5

③　ア：湿潤断熱減率　　イ：1.0
　　ウ：乾燥断熱減率　　エ：0.5

④　ア：湿潤断熱減率　　イ：10
　　ウ：乾燥断熱減率　　エ：5

問２　次の文章を読み，下の問いに答えよ。

周囲と同じ温度の空気塊を少しだけ上昇させたとき，水蒸気で飽和していない空気塊の場合は乾燥断熱減率にしたがって温度が低下する。このとき，周囲の大気の気温減率が乾燥断熱減率より（　オ　）ければ，空気塊は上昇を続けようとする。このような大気の状態を乾燥した空気塊に対して（　カ　）であるという。周囲の大気の気温減率が乾燥断熱減率より（　キ　）ければ, 空気塊は元の高度に戻ろうとする。このような大気の状態を乾燥した空気塊に対して（　ク　）であるという。

(1)　空欄オ～クに入る語句の組合せとして最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

| | オ | カ | キ | ク |
|---|---|---|---|---|
| ① | オ：小さ | カ：不安定 | キ：大き | ク：安定 |
| ② | オ：小さ | カ：安定 | キ：大き | ク：不安定 |
| ③ | オ：大き | カ：不安定 | キ：小さ | ク：安定 |
| ④ | オ：大き | カ：安定 | キ：小さ | ク：不安定 |

(2)　周囲の大気の気温減率が湿潤断熱減率より大きく，乾燥断熱減率より小さいときの大気の安定性はどうなるか。最も適当なものを，次の①～④のうちから一つ選べ。

①　空気塊が飽和していなければ不安定，飽和していれば安定である。

②　空気塊が飽和していなければ安定，飽和していれば不安定である。

③　空気塊が飽和していても飽和していなくても安定である。

④　空気塊が飽和していても飽和していなくても不安定である。

# 第 13 講　大気の構造

## PART1　大気の組成

問題(1)　４番目，0.04%，中間圏

問題(2)　吸収，北半球，北半球

問題(3)　b

## PART2　断熱変化と大気の安定性

問題(1)　増加，大気を押しのける，減少

問題(2)　凝結，凝華，潜熱，水分子，空気塊，小さい，10

問題(3)　ア：6，条件付き不安定

問題(4)　a，b，c

## PART3　雲と降水

問題(1)　15℃，低い，大きく，2km，高い，小さく

問題(2)　冷たい雨，−16℃，水蒸気の氷晶への凝華，
−18℃，過冷却水滴の水蒸気への蒸発，−16℃ ～ −18℃

## PART4　フェーン現象

問題(1)　ア：45.5　イ：36.1

問題(2)　ウ：30.7

問題(3)　エ：24.5　オ：1.8

問題(4)　カ：500　キ：26.3　ク：22.5　ケ：37.2

# 第13講　PART2　確認問題　解答

## 問1

(1)　①

解説：
乾燥断熱減率は約 10K/km（100m の上昇につき約 1.0℃），湿潤断熱減率は約 5K/km（100m の上昇につき約 0.5℃）である。

## 問2

(1)　③

解説：
周囲の大気の気温減率が乾燥断熱減率より大きい場合，上昇した空気塊の温度低下より周囲の大気の温度低下の方が大きいので，空気塊の温度は周囲より高くなり，空気塊はさらに上昇しようとする。

(2)　②

解説：
周囲の大気の気温減率が湿潤断熱減率より大きく，乾燥断熱減率より小さい場合，飽和していない空気塊が上昇すると，周囲の大気より温度が低くなるので，元の高度に戻ろうとする（安定）。飽和した空気塊が上昇すると，周囲の大気より温度が高くなるので，さらに上昇を続ける（不安定）。